

com. us H 1774

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-15872

(43) 公開日 平成 9 年 (1997) 1 月 17 日

(51) Int. Cl. ⁶	識別記号	序内整理番号	F I	技術表示箇所
G03F 9/02			G03F 9/02	H
G02B 7/28			7/20	521
G03B 13/36			G02B 7/11	M
G03F 7/20	521		G03B 3/00	A
H01L 21/027			H01L 21/30	B
				516

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全10頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平7-163335

(22) 出願日 平成 7 年 (1995) 6 月 29 日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号

(72) 発明者 宮地 敬

東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号 株

式会社ニコン内

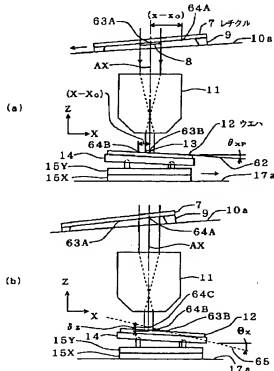
(74) 代理人 弁理士 大森 聡

(54) 【発明の名称】 投影露光装置

(57) 【要約】

【目的】 走査露光中に投影光学系の結像面の高さが変化しても、走査露光中に連続して高い追従精度でウエハの表面をその結像面に合わせ込む。

【構成】 レチクル 7 上の照明領域 8 内のパターンの投影光学系 11 を介した像を含む面を第 1 の基準面 6 2 として、この基準面 6 2 の傾斜角 θ_{1x} 等を求め、レチクル 7 を X 方向に走査した場合に、照明領域 8 の中央の点のウエハ 12 側での共役像を連ねた像面を第 2 の基準面 6 5 として、この基準面 6 5 の傾斜角 θ_{2x} を求める。走査露光時には、ウエハ 12 の照野フィールド 13 の傾斜角を第 1 の基準面 6 2 に合わせ、ウエハ 12 の焦点位置を第 2 の基準面 6 5 に合わせる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 転写用のパターンが形成されたマスクを照明し、該マスクのパターンの一部の像を投影光学系を介して感光性の基板上の所定の露光領域に投影した状態で、前記マスク及び前記基板を前記投影光学系に対して同期して走査することにより、前記マスクのパターンの像を前記基板上の露光フィールドに逐次転写する投影露光装置において、

前記基板上の前記所定の露光領域の傾斜角、及び前記投影光学系の光軸方向の焦点位置を検出する面位置検出センサと、

該面位置検出センサにより検出された傾斜角を前記マスクの前記投影光学系による投影像により定まる第1の基準面の傾斜角に合わせるように前記基板の傾斜角を制御する傾斜角制御手段と、

前記面位置検出センサにより検出された焦点位置を、前記マスクの走り面の走査方向の傾斜角及び前記マスクの傾斜角に応じて定まる第2の基準面の焦点位置に合わせるように前記基板の焦点位置を制御する焦点位置制御手段と、を有することを特徴とする投影露光装置。

【請求項2】 請求項1記載の投影露光装置であって、前記第1の基準面の傾斜角、及び前記第2の基準面の焦点位置の変化の状態は予め計測されてそれぞれ前記傾斜角制御手段、及び前記焦点位置制御手段内に記憶されていることを特徴とする投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、例えば半導体素子、撮像素子（CCD等）、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等を製造するためのフォトリソグラフィ工程で使用される投影露光装置に関し、更に詳しくはマスク及び感光基板を投影光学系に対して同期して走査することによりマスクパターンを感光基板上に逐次転写する所謂ステップ・アンド・スキャン方式等の走査露光型の投影露光装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 従来より、半導体素子等をフォトリソグラフィ技術を用いて製造する際に、マスクとしてのレチクルのパターンを投影光学系を介して、感光基板としてのフォトレジストが塗布されたウエハ（又はガラス基板等）上の各ショット領域に投影露光するステップ・アンド・リポート方式の投影露光装置（ステッパー等）が使用されている。これに対して最近では、半導体素子ためのチップが大型化する傾向にあり、より大面積のパターンをウエハ上に投影露光することが要求されている。そこで、レチクルとウエハとを投影光学系に対して同期して走査することにより、投影光学系の有効露光フィールドより広い範囲のショット領域への露光が可能な走査露光方式の投影露光装置が開発されている。

【0003】 なお、走査露光方式としては、従来より

枚のレチクルのパターンの全体を等倍で1枚の感光基板の全面に逐次投影露光するアライナーが知られているが、最近開発されている方式は、ウエハ上の各ショット領域への露光を縮小投影で且つ走査露光方式で行うと共に、各ショット領域間の移動をステッピング方式で行うステップ・アンド・スキャン方式である。

【0004】 一般に投影露光装置においては、開口数

(N.A.) が大きく焦点深度の浅い投影光学系が使用されるため、微細な回路パターンを高い解像度で転写するためには、ウエハの表面を投影光学系の結像面に合わせ込むための機構が必要である。そこで、従来の一括露光方式の投影露光装置では、例えばウエハステージの案内面（走り面）を基準としてウエハの表面の傾斜角を測定するチルトセンサ（レベリングセンサ）を設け、その案内面を基準として投影光学系の結像面の傾斜角を予め測定しておき、この傾斜角にチルトセンサによる計測値が収束するように、サーボ方式でウエハの表面をその結像面に平行に合わせ込んでいる。そして、この傾斜角の制御（オートレベリング制御）を、ウエハの表面の高さ（焦点位置）を投影光学系の結像面の位置に合わせ込む所謂オートフォーカス制御と併用することによって、ウエハの各ショット領域の全域を結像面に対して焦点深度の範囲内に合わせ込んでいた。

【0005】 また、走査露光方式の投影露光装置においても、従来は一括露光方式とほぼ同様の制御方式で、ウエハの表面を結像面に合わせ込んでいた。更に、走査露光方式では、レチクルの一部のパターンを投影光学系を介してウエハ上に投影したスリット状の投影領域（以下、「照野フィールド」という）に対して、走査方向に手前側の先読み領域でウエハの表面の焦点位置を先読みし、この先読み結果に基づいてウエハの焦点位置を補正する制御方式も提案されている。また、その照野フィールドに対して、レチクルの全体のパターン像が逐次投影されるショット領域上の大きな領域を、以下では「露光フィールド」と呼ぶ。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 従来の走査露光方式、特に縮小倍率のステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置においては、レチクル及びウエハが投影光学系に対して独立に走査されるため、レチクルの走り面とウエハの走り面とはそれぞれ独立に設定されている。また、レチクルの走り面とレチクルのパターン形成面とは必ずしも平行でないため、レチクルの走査位置に応じて投影光学系の結像面（レチクルのパターン像の像面）の高さが次第に変化することがある。このように結像面の高さが次第に変化する場合には、その結像面の高さが変化する方向とウエハの走り面の方向とが平行でないため、オートフォーカス制御の応答速度に起因して追従遅差が発生し、ウエハの露光フィールド（ショット領域）の表面が部分的に結像面に対して焦点深度の範囲から外れてし

まう恐れがあった。

【0007】本発明は所かる点に鑑み、走査露光中に投影光学系の結像面の高さが変化しても、走査露光中に連続して高い追従精度でウエハの表面をその結像面に合わせ込むことができる投影露光装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明による投影露光装置は、転写用のパターンが形成されたマスク（7）を照明し、このマスクのパターンの一部の像を投影光学系

（11）を介して感光性の基板（12）上の所定の露光領域（照野フィールド13）に投影した状態で、マスク（7）及び基板（12）を投影光学系（11）に対して同期して走査することにより、マスク（7）のパターンの像を基板（12）上の露光フィールドに逐次転写する投影露光装置において、基板（12）上の所定の露光領域（13）の傾斜角、及び投影光学系（11）の光軸方向の焦点位置を検出する面位置検出センサ（25）と、この面位置検出センサにより検出された傾斜角をマスク（7）の投影光学系（11）による投影像により定まる第1の基準面（62）の傾斜角に合わせるように基板（12）の傾斜角を制御する傾斜角制御手段（16A～16C、20）と、面位置検出センサ（25）により検出された焦点位置を、マスク（7）の走り面（10a）の走査方向の傾斜角（ θ_1 ）及びマスク（7）の傾斜角に応じて定まる第2の基準面（65）の焦点位置に合わせるように基板（12）の焦点位置を制御する焦点位置制御手段（16A～16C、20）と、を有するものである。

【0009】言い換えると、本発明では、マスクの一部のパターンの投影像の露光領域（照野フィールド）に対する第1の基準面（62）と、走査露光の結果として得られる基板（12）上の露光フィールドに対する第2の基準面（65）とを管理し、基板（12）の傾斜角の制御は第1の基準面（62）の傾斜角に基づいて行い、基板（12）の焦点位置の制御は第2の基準面（65）の焦点位置に基づいて行っている。

【0010】この場合、第1の基準面（62）の傾斜角、及び第2の基準面（65）の焦点位置の変化の状態は予め計測されてそれぞれ傾斜角制御手段（16A～16C、20）、及び焦点位置制御手段（16A～16C、20）内に記憶されていることが望ましい。

【0011】

【作用】斯かる本発明の原理につき、本発明の一実施例の要部を示す図8を参照して説明する。図8（a）において、基板（12）を走査するステージ系（14、15X、15Y）の走り面（案内面）（17a）の2次元の傾斜角を基準値（0、0）とする。その2次元の傾斜角は、例えば投影光学系（11）の光軸に垂直な平面の直交座標系であるY軸、及びX軸の回りで傾斜角を表

す。そして、マスクの一部のパターン（8）の投影像である照射フィールド（13）の結像面を第1の基準面（62）として、走り面（17a）に対する第1の基準面（62）の傾斜角を（ θ_{11} 、 θ_{12} ）とすれば、傾斜角制御手段によって基板（12）の表面の傾斜角はその（ θ_{11} 、 θ_{12} ）を目標値として制御される。この結果、第1の基準面（62）に対して基板（12）の表面が平行に設定される。

【0012】この状態で、マスク（7）及び基板（12）の走査を行った場合、走り面（17a）に対して第1の基準面（62）が傾斜しているため、走査方向の基板（12）の位置に応じて、基板（12）の焦点位置（高さ）が変化する。仮に、基板（12）の走査方向を+X方向として、基板（12）の位置が図8（a）に示す位置X₁にあるときの焦点位置をz₁、基板（12）の位置が図8（b）に示す位置X₂に変化したときの焦点位置をz₂とすると、近似的に以下の関係が成立する。

【0013】

【数1】 z₂ = (X-X₁) θ_{11} + z₁

ここで、更にマスク（7）の走査による影響を考慮するために、マスク（7）の走り面（10a）に対してマスク（7）のパターン形成面が走査方向に所定角度傾斜しているとする。その結果として図8（b）に示すように、マスク（7）をX方向に走査した場合に、照野フィールドの中心での結像面の位置は走査方向に対する傾斜角（Y軸の回りで傾斜角）が θ_1 の第2の基準面（65）に沿って移動する。また、図8（a）及び（b）の状態でのマスク（7）のX方向の位置をそれぞれx₀、及びxとして、投影光学系（11）のマスクから基板への投影倍率を β （ β は例えば1/4、1/5等）とすると、投影光学系（11）が倒立像を投影する場合に、次の関係が成立する。

【0014】

【数2】 X-X₀ = - β (x-x₀)

また、第2の基準面（65）の傾斜角は θ_1 、基板（12）が図8（a）に示す位置X₁にあるときの焦点位置はz₁であるため、図8（b）の状態での照射フィールドの中央での焦点位置はほぼ次式で表される焦点位置z₂に変化する。

【0015】

【数3】 z₂ = (X-X₁) θ_1 + z₁

従って、この焦点位置z₂を目標として合焦制御（オートフォーカス制御）を行えばよいが、実際には第1の基準面（62）の傾斜角に応じて、基板（12）の焦点位置は（数1）で示す焦点位置z₁に変化して、次式で表されるデフォーカス量 δz が生じている。

【0016】

【数4】 $\delta z = z_2 - z_1 = (X-X_1)(\theta_1 - \theta_{11})$

そのため、実際の合焦制御は例えば（数4）のデフォーカス量 δz を0にするように行えばよい。また、第1の

基準面(62)の傾斜角 θ_1 、及び第2の基準面(65)の傾斜角 θ_2 は、それぞれ例えばテストプリントを行って求めて、記憶しておけばよい。この結果、基板

(12)の傾斜角をマスク(7)の照野フィールド内での投影像の像面に合わせながら、基板(12)の焦点位置をマスク(7)の全体としての投影面に沿って変化させることが可能になる。

【0017】

【実施例】以下、本発明による投影露光装置の一実施例について図面を参照して説明する。本実施例は、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置に本発明を適用したものである。図1は、本実施例の投影露光装置を示し、この図1において、光源及びオブティカル・インテグレートを含む光源系1からの露光用の照明光ILが、第1リレーレンズ2、レチクルブラインド(可変視野絞)3、第2リレーレンズ4、ミラー5、及びメインコンデンサ・レンズ6を介して、均一な照度分布でレチクル7のパターン形成面(下面)のスリット状の照明領域8を照明する。レチクルブラインド3の配置面はレチクル7のパターン形成面とほぼ共役であり、レチクルブラインド3の開口の位置及び形状により、照明領域8の位置及び形状が設定される。

【0018】レチクル7上の照明領域8内のパターンの投影光学系11を介した像が、フォトレジストが塗布されたウエハ12上のスリット状の照野フィールド13内に投影露光される。ここで、投影光学系11の光軸に平行にZ軸を取り、その光軸に垂直な2次元平面内で図1の紙面に平行にX軸を、図1の紙面にY軸を取る。レチクル7はレチクルステージ9上に保持され、レチクルステージ9はレチクルベース10上で走査方向であるX方向に例えばバリエオモータにより駆動される。レチクルステージ9上の移動鏡18、及び外部のレーザ干渉計19によりレチクル7のX座標が計測され、このX座標が装置全体の動作を統括制御する制御系20に供給され、制御系20は、レチクルステージ駆動系21及びレチクルステージ9を介してレチクル7の位置及び移動速度の制御を行う。

【0019】一方、ウエハ12は、不図示のウエハホルダを介してZチルトステージ14上に保持され、Zチルトステージ14は3個のZ方向に移動自在なアクチュエータ16A~16Cを介してYステージ15Y上に載置され、Yステージ15Yは、Xステージ15X上に例えば送りねじ方式でY方向に移動されるように載置され、Xステージ15Xは、装置ベース17上に例えば送りねじ方式でX方向に移動されるように載置されている。3個のアクチュエータ16A~16Cを並行に伸縮させることにより、Zチルトステージ14のZ方向の位置(焦点位置)の調整が行われ、3個のアクチュエータ16A~16Cの伸縮量を個別に調整することにより、Zチルトステージ14のX軸及びY軸の回りの傾斜角の調整が

行われる。

【0020】また、Zチルトステージ14の上端に固定されたX軸用の移動鏡22X、及び外部のレーザ干渉計23Xにより、ウエハ12のX座標が常時モニタされ、Y軸用の移動鏡22Y(図7参照)及び外部のレーザ干渉計23Yにより、ウエハ12のY座標が常時モニタされ、検出されたX座標、Y座標が制御系20に供給されている。

【0021】ここで、アクチュエータ16A~16Cの構成例につき説明する。図6は、アクチュエータ16Aの断面図であり、この図6において、図1のYステージ15Y上に駆動機構ハウジング40が固定され、駆動機構ハウジング40内に送りねじ41が回転自在に収納され、送りねじ41の左端にカップリング42を介して回転角検出用のロータリーエンコーダ43が接続され、送りねじ46の右端にカップリング44を介してロータリーモータ45が接続されている。また、送りねじ41にナット39が噛合され、ナット39に支柱38を介して上端が傾斜した斜面部36Aが固定され、斜面部36Aの一端に回転体36Bが接触している。回転体36Bは、図1のZチルトステージ14内に回転自在に、且つ横方向には移動できないように埋め込まれている。

【0022】また、斜面部36Aは直線ガイド37に沿って送りねじ41に平行な方向に移動できるように支持されている。この場合、図1のウエハステージ制御系24からの駆動速度を示す制御信号がロータリーモータ45に供給され、ロータリーモータ45は指示された駆動速度(角速度)で送りねじ41を回転する。これにより、ナット39が送りねじ41に沿ってX方向に移動し、斜面部36Aも送りねじ41に沿って移動する。従って、斜面部36Aの上端に接触する回転体36Bは、回転しながら駆動機構ハウジング40に対して上下方向(Z方向)に変位する。また、送りねじ41の回転角速度をロータリーエンコーダ43により計測することにより、回転体36Bの上下方向への移動速度が検出される。他のアクチュエータ16B、16Cも同じ構成である。

【0023】なお、アクチュエータ16A~16Cは、図6のようにロータリーモータを使用する方式の外に、例えばピエゾ素子等を使用して構成してもよい。図1に戻り、制御系20は、供給された座標に基づいてウエハステージ駆動系24を介してXステージ15X、Yステージ15Y、及びZチルトステージ14の動作を制御する。例えば走査露光方式で露光を行う場合には、投影光学系11が投影倍率 β (β は例えば1/4等)で倒立像を投影するものとして、レチクルステージ9を介してレチクル7を照明領域8に対して+X方向(又は-X方向)に速度 V_x で走査すると同時に、Xステージ15Xを介してウエハ12が照野フィールド13に対して-X方向(又は+X方向)に速度 V_y ($=\beta \cdot V_x$)で走査される。

【0024】次に、ウエハ12の表面のZ方向の位置(焦点位置)を検出するための多点の焦点位置検出系(以下、「多点AFセンサ」という)25の構成につき説明する。この多点AFセンサ25において、光源26から射出されたフォトレジストに対して非感光性の検出光が、コンデンサレンズ27を介して透光スリット板28内の多数のスリットを照明し、それらスリットの像が対物レンズ29を介して、投影光学系11の光軸に対して斜めにウエハ12上の照野フィールド13及びこの前後の先読み領域35A、35B(図2参照)の15個の計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ に投影される。

【0025】図2は、ウエハ12上のそれら計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ の配置を示し、この図2において、スリット状の照野フィールド13に対して+X方向、及び-X方向側にそれぞれ先読み領域35A及び35Bが設定されている。そして、照野フィールド13内に3行×3列の計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ が設定され、先読み領域35B内に3個の計測点 $P_{11} \sim P_{13}$ が設定され、先読み領域35A内に3個の計測点 $P_{14} \sim P_{15}$ が設定されている。本実施例では、照野フィールド13内の9個の計測点での焦点位置の情報から照野フィールド13内の平均的な焦点位置、及び傾斜角を求める。そして、必要に応じて、先読み領域35A(又は35B)内の3個の計測点での焦点位置の情報を使用してウエハ12の表面の段差の補正等を行う。

【0026】図1に戻り、それらの計測点からの反射光が、集光レンズ30を介して振動スリット板31上に集光され、振動スリット板31上にそれら計測点に投影されたスリット像が再結像される。振動スリット板31は、制御系20からの駆動信号DSにより駆動される加振器32により所定方向に振動している。振動スリット板31の多数のスリットを通して光が光電検出器33上の多数の光電変換素子によりそれぞれ光電変換され、これら光電変換信号が信号処理系34に供給される。

【0027】図3は、図1中の透光スリット板28を示し、この図3において、透光スリット板28には図2のウエハ上の計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ に対応する位置にそれぞれスリット28₁₁～28₁₅が形成されている。また、図1中の振動スリット板31上にも、図4に示すように図2のウエハ上の計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ に対応する位置にそれぞれスリット31₁₁～31₁₅が形成され、振動スリット板31は加振器32により各スリットの長手方向に直交する計測方向に振動している。

【0028】次に、図5は、図1中の光電検出器33、及び信号処理系34を示し、この図5において、光電検出器33上の1行目の光電変換素子33₁₁～33₁₅には、それぞれ図2の計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ から反射されて、且つ振動スリット板31中の対応するスリットを通過した光が入射し、2行目～4行目の光電変換素子33₂₁～

33₄₅には、それぞれ図2の計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ から反射されて、且つ振動スリット板31中の対応するスリットを通過した光が入射し、5行目の光電変換素子33₅₁～33₅₅には、それぞれ図2の計測点 $P_{11} \sim P_{15}から反射されて、且つ振動スリット板31中の対応するスリットを通過した光が入射する。そして、光電変換素子33₁₁～33₅₅からの検出信号は、増幅器46₁₁～46₅₅を介して同期整流器47₁₁～47₅₅に供給される。同期整流器47₁₁～47₅₅はそれぞれ加振器32用の駆動信号DSを用いて入力された検出信号を同期整流することにより、対応する計測点の焦点位置に所定範囲でほぼ比例して変化するフォーカス信号を生成する。本実施例では、同期整流器47₁₁～47₅₅から出力されるフォーカス信号は、それぞれ図1において、例えばレチクル7が走査方向の中央に静止した状態で、対応する計測点が投影光学系11の結像面(ベストフォーカス面)に合致しているときに0になるようにキャリブレーションが行われている。$

【0029】同期整流器47₁₁～47₅₅から出力されるフォーカス信号は、並列にマルチプレクサ48に供給され、マルチプレクサ48は、制御系20内のマイクロプロセッサ(MPU)50からの切り換え信号に同期して、供給されるフォーカス信号から順番に選ばれたフォーカス信号をアナログ/デジタル(A/D)変換器49に供給し、A/D変換器49から出力されるデジタルのフォーカス信号が順次制御系20内のメモリ51内に格納される。

【0030】図7は、図1の3個のアクチュエータ16A～16Cの駆動系を示し、この図7の制御系20において、メモリ51の各アドレス51₁₁～51₁₅内にそれぞれ図2の計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ での焦点位置を示すデジタルのフォーカス信号が格納されている。なお、これらのフォーカス信号は、所定のサンプリング周期で逐次書き換えられているものである。それらアドレス中で、図2の照野フィールド13内の計測点に対応するアドレス51₁₁～51₁₅から読み出されたフォーカス信号は並列に最小自乗法計算部52に供給される。最小自乗法計算部52では、その照野フィールド13内の9個の計測点 $P_{11} \sim P_{15}$ に対応する9個のフォーカス信号に基づいて、最小自乗法的にその照野フィールド13の表面に合致する平面を決定し、この決定された平面の中心での焦点位置(Z座標)z、Y軸の回りでの傾斜角 θ_y 、及びX軸の回りでの傾斜角 θ_x を求める。これらの傾斜角 θ_x 、傾斜角 θ_y 、及び焦点位置zはそれぞれ減算部54A、54B及び54Cに供給される。

【0031】また、メモリ51内のアドレス51₁₁～51₁₅、及び51₁₆～51₁₉から読み出された、図2の先読み領域35A、35B内の計測点に対応するフォーカス信号は、先読み補正部53に供給される。先読み補正部53では例えばウエハ12の表面の凹凸の検出等を行

う。更に、本例の主制御系20内には、第1の記憶部55、及び第2の記憶部56が設けられ、第1の記憶部55には、ウエハ12上の照野フィールド13での結像面を表す第1の基準面のY軸の回りでの傾斜角 θ_{1r} 、及びX軸の回りでの傾斜角 θ_{1x} と、例えばレチクル7の中心が投影光学系11の光軸上にあるときの照野フィールド13の中心での結像面の焦点位置 z_0 とが記憶されている。一方、第2の記憶部56には、ウエハ12上の露光フィールド(ショット領域)の全面での結像面を表す第2の基準面のY軸の回りでの(走査方向に対する)傾斜角 θ_{2y} が記憶されている。

【0032】ここで、図8を参照して、その第1及び第2の基準面につき詳細に説明する。図8(a)は図1のステージ系を簡略化して示し、この図8(a)において、レチクル7をX方向に走査するレチクルステージ9は走り面(案内面)10aに沿って移動するものとして、レチクル7のパターン形成面は走り面10aに対して所定角度傾斜しているものとする。また、ウエハ12をX方向に走査するXステージ15Xは走り面17aに沿って移動するものとして、走り面17aのY軸、及びX軸の回りの傾斜角が(0, 0)に調整されているものとする。

【0033】この場合、レチクル7が走査方向の中央の位置にある状態で、照明領域8内のレチクル7のパターンを投影光学系11を介して照野フィールド13に投影した像の結像面が第1の基準面62であり、第1の基準面62の走り面17aに対するY軸、X軸の回りの傾斜角 θ_{1r} 、 θ_{1x} 、及びその基準面62の焦点位置 z_0 が予め求められている。そして、3個のアクチュエータ16A~16C(図7参照)の伸縮量の制御により、ウエハ12の表面は第1の基準面62に合致するように設定されている。ところが、図8(a)ではレチクル7の位置が走り面10aに沿ってX方向に移動して、照明領域8がZ方向に変動すると、照野フィールド13内の像の結像面は第1の基準面62に平行にZ方向に変動する。この第1の基準面62のZ方向への変動量を表すのが、第2の基準面である。

【0034】即ち、図8(a)で投影光学系11の光軸AX上のレチクル7のパターン形成面上の点63Aと、この点から+X方向に離れた点64AとX方向の間隔を $(x-x_0)$ とする。そして、点63Aとウエハ12上で共役な像点63Bから、X方向に間隔 $(X-X_0)$ だけ離れたウエハ12上の点を点64Bとして、投影光学系11の投影倍率 β を用いて、次の関係があるとする。

$$\begin{aligned} \text{【数5】 } X-X_0 &= -\beta(x-x_0) \end{aligned}$$

その後、図8(a)の状態からウエハ12の傾斜角、及び焦点位置をロックした状態で、レチクル7及びウエハ12をそれぞれ-X方向及び+X方向に速度比 β で走査して、図8(b)に示すように、レチクル7上の点64

Aが光軸AX上に至ると、ウエハ12上では点64Bが光軸AX上に至る。しかしながら、レチクル7上の照明領域がZ方向に変位しているため、レチクル7上の点64Aの投影光学系11を介した像点64Cの位置は、点64Bに対してZ方向に間隔 δz だけ離れている。ここで、図8(b)において、ウエハ12側での最初の像点63Bと今度の像点64Cとを通り、X軸の回りの傾斜角が第1の基準面62の傾斜角 θ_{1r} と同じ平面で第2の基準面65とすると、レチクル7及びウエハ12をそれぞれ-X方向及びX方向に走査した場合には、レチクル7の光軸AX上の点の投影光学系11を介した像点を連ねた直線がその第2の基準面65上にある。言い換えると、ウエハ12上の露光フィールド(ショット領域)に投影されるレチクルのパターン像の結像面がその第2の基準面となる。

【0036】本例ではその第2の基準面65のY軸の回りでの傾斜角 θ_{2y} が予め計測されている。そこで、図8

(b)におけるウエハ12上の点64Bと像点64Cとの間隔 δz は、第1の基準面62の傾斜角 θ_{1r} 、及び第2の基準面65の傾斜角 θ_{2y} を用いて、次のようになる。

【0037】

$$\text{【数6】 } \delta z = (X-X_0) \cdot (\theta_{2y} - \theta_{1r})$$

そこで、3個のアクチュエータ16A~16Cの高さを並行にその間隔 δz だけ変化させることにより、合焦(オートフォーカス)が行われる。この際に、レベリングは既に完了している。

【0038】図7に戻り、第1の記憶部55からの第1の基準面の傾斜角 θ_{1r} 、 θ_{1x} が、それぞれ傾斜角の目標値として減算部54A及び54Bに供給され、減算部54A及び54Bから目標位置/速度変換部58に対してそれぞれ傾斜角の偏差 $\Delta\theta_1 = (\theta_{1r} - \theta_{1r})$ 、及び $\Delta\theta_2 = (\theta_{1x} - \theta_{1x})$ が供給されている。また、第1の記憶部55からの傾斜角 θ_{1r} 、及び基準状態での結像面の焦点位置 z_0 と、第2の記憶部56からの第2の基準面の傾斜角 θ_{2y} とが焦点位置補正部57に供給されている。また、X軸のレーザ干渉計23Xで計測されたZチルトステージ14(ウエハ12)のX座標が焦点位置補正部57、及び目標位置/速度変換部58に供給され、Y軸のレーザ干渉計23Yで計測されたZチルトステージ14のY座標が目標位置/速度変換部58に供給されている。

【0039】焦点位置補正部57では、基準状態でのZチルトステージ14のX座標を X_0 、現在のZチルトステージ14のX座標を X として、(数6)より焦点位置のずれ量 δz を算出し、このずれ量 δz に焦点位置 z_0 を加算して目標焦点位置 z_t を求め、この目標焦点位置 z_t を減算部54Cに供給する。これに応じて、減算部54Cから目標位置/速度変換部58に対して焦点位置の偏差 $\Delta z = (z_t - z)$ が供給されている。目標位置

／速度変換部58では、先ず、供給されたZチルトステージ14のX座標、Y座標より、投影光学系11の光軸を原点とした場合の3個のアクチュエータ16A、16B、16Cのそれぞれの作用点の座標 (X_i, Y_i) 、 (X_z, Y_z) 、 (X_z, Y_z) を算出する。

【0040】また、予め傾斜角 θ_i 、傾斜角 θ_r 、及び焦点位置 z のそれぞれの位置制御系のループゲイン $K\theta$

$$\begin{bmatrix} VZ_i \\ VZ_z \\ VZ_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K\theta_x & 0 & 0 \\ 0 & K\theta_y & 0 \\ 0 & 0 & K_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i & Y_i & 1 \\ X_z & Y_z & 1 \\ X_z & Y_z & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\theta_x \\ \Delta\theta_y \\ \Delta z \end{bmatrix}$$

【0042】アクチュエータ16A～16Cの座標 (X_i, Y_i) 、 (X_z, Y_z) は、ウエハ12が走査されるのに応じて変化するため、目標位置／速度変換部58は、例えばウエハ12の位置が所定ステップ変化する毎に、又は所定の時間間隔で逐次(数7)の演算を行って速度指令値 VZ_i 、 VZ_z 、 VZ_z を算出する。これらの速度指令値 VZ_i 、 VZ_z は、速度コントローラ60に供給され、速度コントローラ60は、パワーアンプ61A～61Cを介してアクチュエータ16A～16Cを駆動20する。また、アクチュエータ16A～16Cの内部のロータリエンコーダ43A～43C(図6のロータリエンコーダ43と同じ)からの速度の検出信号が速度コントローラ60にフィードバックされている。これにより、アクチュエータ16A～16Cは、それぞれ先端部が駆動速度 VZ_i 、 VZ_z でZ方向に駆動される。

【0043】そして、そのアクチュエータ16A～16Cにより駆動された後のウエハ12の表面の位置及び傾斜角が、図1の多点AFセンサ25及び図7の最小自乗法計算部52等により計測され、この計測結果と目標値30との偏差が目標位置／速度変換部58にフィードバックされる。走査露光中にそのようにZチルトステージ14の傾斜角及び焦点位置をサーボ制御することによって、ウエハ12の照野フィールド13が、常にレチクル7の照明領域8内のパターンの投影像の結像面に合致した状態で露光が行われる。

【0044】次に、図8に示した照野フィールド13内の結像面に対応する第1の基準面62の傾斜角 $\theta_{i,r}$ 、 $\theta_{r,r}$ 、及びウエハ12上の露光フィールドの結像面に対応する第2の基準面65の傾斜角 θ_z の測定方法の一例につき説明する。先ず、第1の基準面62に関しては、図8(a)に示すように、レチクル7を走査方向の中央に静止させた後、ウエハステージをステップ・アンド・リピート方式により、ウエハ12上の複数の領域(照野フィールド13により露光される領域)にそれぞれ照明領域8内のパターン像をテストプリント(条件なし露光)する。この際にウエハ12の表面は走り面17aに平行に、即ち傾斜角 $(0, 0)$ に設定しておき、1回の露光毎にウエハ12の焦点位置(Z座標)を次第に変化させる。その後、ウエハ12を現像し、得られた

、 $K\theta_r$ 、及び K_z が記憶されており、目標位置／速度変換部58では次式から3個のアクチュエータ16A、16B、16Cへのそれぞれの速度指令値 VZ_i 、 VZ_z 、 VZ_z を算出する。

【0041】

【数7】

投影像の解像度を調べることによって、照野フィールド13内の各点でのベストフォーカス位置の分布を求め、この分布を平面近似することによって第1の基準面62の傾斜角 $(\theta_{i,r}, \theta_{r,r})$ 、及び焦点位置 z が求められる。

【0045】次に、第2の基準面65に関しては、最初に前述の方法により第1の基準面62の傾斜角 $(\theta_{i,r}, \theta_{r,r})$ を求め、この傾斜角を不図示の入出力装置を介して図7の第1の記憶部55に設定しておく。また、第2の基準面65の傾斜角 θ_z としては値0(走り面17aと同じ値)を不図示の入出力装置を介して図7の第2の記憶部56に設定しておく。その後、1回の露光毎に焦点位置(Z座標)の目標値を所定間隔だけ変化させながら、ステップ・アンド・スキップ方式によるテストプリントを行う。この際の各回の走査露光時には、ウエハ12は傾斜角が第1の基準面62に合致した状態で、且つ焦点位置は固定されている。その後、ウエハ12を現像して、得られた像の解像度を計測することにより、ウエハ12の各露光フィールド(ショット領域)でのベストフォーカス位置の分布が求められる。その分布より第2の基準面65のY軸の回りでの傾斜角 θ_z 、X軸の回りでの傾斜角 θ_x (これは第1の基準面62の傾斜角 $\theta_{i,r}$ にほぼ等しい)が求められる。その傾斜角 θ_z が不図示の入出力装置を介して、図7の第2の記憶部56に記憶される。

【0046】なお、図2においては、傾斜角、及び焦点位置検出用の計測点 $P_1 \sim P_4$ が照野フィールド13内に分布しているが、それら計測点 $P_1 \sim P_4$ は照野フィールド13からはみ出しているもよい。また、全体の計測点 $P_1 \sim P_8$ の個数、及び配列は図2に限定されず、例えば計測点をX方向に段違いに配置してもよい。更に、上述実施例では、ウエハ12上の照野フィールド13の傾斜角を検出するために多点AFセンサ25が使用されているが、多点AFセンサの代わりに計測点が1点のAFセンサを使用して、傾斜角検出用に例えばウエハ12の表面に平行光束を斜めに照射し、その反射光の集光位置の横ずれ量からその表面の傾斜角を検出する平行光束斜入射方式のレベリングセンサを使用してもよい。

【0047】このように、本発明は上述実施例に限定さ

れず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

【0048】

【発明の効果】本発明の投影露光装置によれば、マスクの傾きや投影光学系の傾きに起因する感光性の基板上の露光領域（照野フィールド）に対する投影像の傾斜角が、第1の基準面の傾斜角となっている。また、マスク側のステージと基板側のステージとの走り面（案内面）の傾斜角のずれ等に起因する、基板上の露光フィールドに対する投影像の傾きは、第2の基準面の傾斜角となっている。従って、それら2つの基準面に基づいて傾斜角及び焦点位置の制御を行うことにより、走査露光中に投影光学系の結像面の高さが変化しても、走査露光中に連続して高い追従精度で基板の表面をその結像面に合わせ込むことができる利点がある。

【0049】その結果、基板上の各露光フィールド（ショット領域）の全域において均質な投影像を得ることが容易になり、また、投影光学系の結像面の焦点深度が狭くなった場合でも高い結像特性を維持できる。即ち、焦点深度に対する裕度（フォーカスマージン）が高くなる。また、その第1の基準面の傾斜角、その前記第2の基準面の焦点位置の変化の状態が予め計測されてそれぞれ傾斜角制御手段、及び焦点位置制御手段内に記憶されている場合には、走査露光中には単に記憶されているデータを使用すればよいだけであるため、制御シーケンスが単純化され、且つ焦点位置の変化に対する追従速度も高速化できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例が適用されたステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置を示す構成図である。

【図2】図1のウエハ12上の焦点位置の計測点の分布を示す平面図である。

【図3】図1中の送光スリット板28を示す図である。

【図4】図1中の振動スリット板31を示す図である。

【図5】図1中の光電検出器33、及び信号処理系34を示す構成図である。

【図6】図1中のアクチュエータ16Aの構成例を示す一部を断面とした構成図である。

【図7】図1中のウエハ12のフォーカス・レベリング機構、及びその制御系を示す一部斜視図を含む構成図である。

【図8】（a）は照野フィールド13に対する第1の基準面62を示す概念図、（b）はウエハ12上の露光フィールドに対する第2の基準面65を示す概念図である。

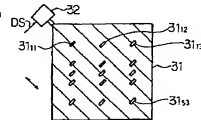
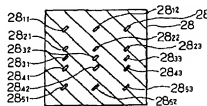
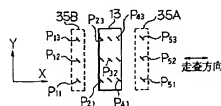
【符号の説明】

- 7 レチクル
- 9 レチクルステージ
- 11 投影光学系
- 12 ウエハ
- 13 照野フィールド
- 14 フォーカス・レベリングステージ
- 15 Y Yステージ
- 15 X Xステージ
- 16 A ~ 16 C アクチュエータ
- 19, 23 X, 23 Y レーザ干渉計
- 20 主制御系
- 25 多点AFセンサ
- P₁₁ ~ P₄₁ 計測点
- 33 光電検出器
- 34 信号処理系
- 52 最小自乗法計算部
- 57 焦点位置補正部
- 58 目標位置/速度変換部
- 62 第1の基準面
- 65 第2の基準面

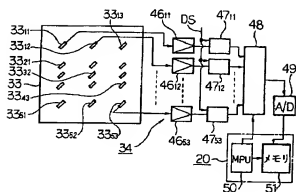
【図2】

【図3】

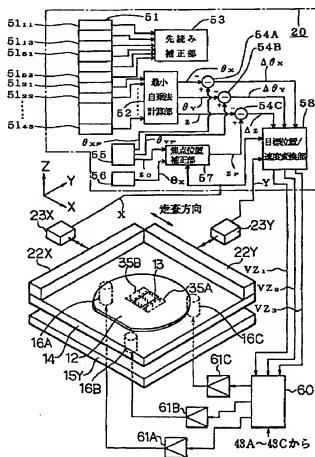
【図4】



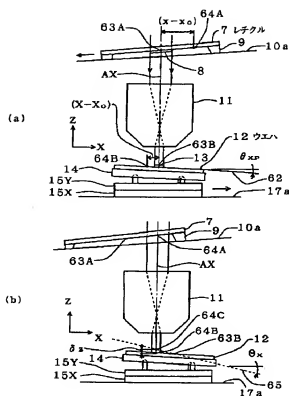
【圖 5】



【图 7】



【図 8】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. ⁴

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

518

526

A